

ПРОБЛЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Аннотация. Внедрение сложных геотехнических систем, обеспечивающих комплексное освоение недр, возможно при сочетании физико-технических методов с физическими, химическими, биогидро-металлургическими и другими специальными геотехнологиями извлечения полезных компонентов из природных месторождений и техногенных образований. Возможность использования подобных систем определяется результатами системного анализа геологических, горнотехнических, гидрогеологических, геохимических условий, текстурно-структурных характеристик и вещественного состава полезного ископаемого. Для оценки параметров геотехнологий и показателей извлечения полезного компонента необходима информация о режимах протекания процессов в массиве горных пород, характеризующихся определенными свойствами. Принцип классификации физических свойств пород базируется на реакции при воздействии на них внешних полей. Создание баз геоданных, включающих характеристики вещественного состава и технологические свойства полезного ископаемого по различным месторождениям, позволит в дальнейшем сформировать базы технологических знаний для выбора метода добычи полезного ископаемого из недр и схем обогащения на основе классификации ситуаций.

Ключевые слова: геоинформационное обеспечение, комплексное месторождение, геотехнология, извлечение, геоданные, формирование, банк знаний.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-191-199

Основой различных геотехнологий являются физико-технический, физический, физико-химический, химический, биогидрометаллургический и другие процессы или их комбинации. Для успешного извлечения полезного компонента непосредственно из недр необходима информация о влиянии горной среды на режим конкретного технологического процесса. Традиционный процесс добычи в зависимости от физико-механических свойств полезного ископаемого связан с извлечением из недр Земли рыхлой или дробленной горной массы и последующим транспортированием к пунктам дальнейшей переработки или складирования. При этом качественные характеристи-

ки, физические и химические свойств, текстурно-структурные особенности добываемого сырья не изменяются. Однако разработка месторождений связана с большими затратами на перевод горной массы в подвижное состояние, транспортирование в отвалы и руды к пунктам доведения ее до состояния, удовлетворяющего потребителя. Выходом из создавшейся ситуации является применение горнотехнических систем, ориентированных на полный цикл геотехнологических процессов добычи и переработки сырья и обеспечивающих повышение геопотенциала недр [1, 2]. Реализация сложных геотехнических систем возможна только при сочетании физико-техни-

ческих методов с физическими, химическими, биогидрометаллургическими и другими специальными геотехнологиями извлечения полезных компонентов из природных месторождений и техногенных образований. Возможность использования сложных геотехнических систем устанавливается по результатам системного анализа геологических, горнотехнических, гидрогеологических, геохимических условий, текстурно-структурных характеристик и вещественного состава полезного ископаемого [3, 4].

Находящиеся в недрах Земли минералы характеризуются определенными физическими свойствами, химическим составом и внутренним строением [5]. Полезные ископаемые обычно представлены в виде соединений, возникших в результате определенных геологических процессов: магматизма, метаморфизма, разрушения и седиментации. Известно, что число устойчивых природных соединений — минералов — не превышает трех тысяч. По химическому составу минералы подразделяются на простые вещества: сульфиды, галоиды и кислородные соединения. Большинство минералов имеют кристаллическую структуру и только некоторая часть из них — аморфные. Физические свойства минералов полезных ископаемых весьма разнообразны и предопределяются химическим составом и строением [6].

Выбор геотехнологического метода добычи зависит от текстурно-структурных особенностей полезного ископаемого и вмещающих пород, которые связаны с размером, формой и взаимным расположением зерен, агрегатов и включений [7].

В основе конкретного геотехнологического метода лежит физический, химический, биохимический, электрохимический, тепловой, световой, электромагнитный, радиационный и другие процессы, а зачастую их сочетания. Поэтому для оценки параметров геотехнологий и по-

казателей извлечения полезного компонента необходима информация о режимах протекания конкретного процесса в массиве горных пород, характеризующих комплексом свойств. За основу классификации физических свойств пород принята их реакция на внешние поля или воздействия, во взаимодействии с которыми проявляются конкретные свойства. В соответствии с этим постулатом выделяются следующие классы свойств: плотностные, механические, тепловые, электромагнитные, радиационные, горно-технологические и другие (табл. 1).

При использовании геотехнологий избирательного извлечения требуется детальная информация о физических свойствах, химическом и минералогическом составе полезного ископаемого, процессах перевода его в подвижное состояние, морфологии, текстурно-структурных особенностях руд, минимальном промышленном содержании полезных компонентов в блоке, технологичности полезного ископаемого и бортовом содержании. На основании технологических исследований продуктивной толщи и вмещающих пород устанавливаются дополнительные показатели, свойственные определенной геотехнологии и необходимые для эффективного воздействия на горный массив и извлечения полезного компонента из недр.

Физико-технические методы, наиболее распространенные в горнодобывающей промышленности, в основном связаны с разработкой месторождений твердых полезных ископаемых открытым, подземным и комбинированным способами. Физические и физико-химические геотехнологические методы извлечения полезного компонента из недр подразделяются на: кучное и подземное выщелачивание, подземное растворение, подземная выплавка, скважинная гидродобыча, подземная газификация, скважинная гидродобыча (табл. 2).

Таблица 1

Классификация физических свойств горных пород
Classification of physical properties of rocks

Класс	Группа	Наименование показателей	Единицы
Плотностные	Гравитационные	удельный вес, объемный вес, удельная масса, плотность,	гс/см ³ гс/см ³ г/см ³ г/см ³
	Структурные	пористость общая, открытая, коэффициент пористости	% % —
Механические	Прочностные	предел прочности при одноосном сжатии, предел прочности при одноосном растяжении, сцепление, угол внутреннего трения	кгс/см ² кгс/см ² кгс/см ² градус
Деформационные		модуль упругости, коэффициент поперечных деформаций, модуль сдвига, модуль всестороннего сжатия, модуль деформации	Па — Па Па Па
Акустические	Скорость распространения волн в массиве	продольной, поперечной, поверхностной, коэффициент затухания	м/с м/с м/с м ⁻¹
Реологические		параметры ползучести, период релаксации	с ^{α-1} с
Горнотехнологические		коэффициент крепости, коэффициент разрыхления, коэффициент трения, показатель буримости, показатель дробимости, показатель взрываемости, твердость, абразивность	— — — — — — — —
Тепловые	Свойства состояния	теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость, температурный коэффициент линейного расширения, температура фазовых превращений, удельная теплота плавления	ккал/(м ч °С) м ² /ч ккал/(кг °С) 1/°С °С ккал/кг
Электромагнитные	Электрические	объемное удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла электрических потерь электрическая прочность	Ом см — — кВ/см
Магнитные		магнитная восприимчивость, магнитная проницаемость, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила	ед. СИ — А/м ² А/м
Радиационные		естественная радиоактивность	Бк/с

Таблица 2

Взаимосвязь геотехнологий и геоданных
Relationship of geotechnologies and geodata

Геотехнология	Объекты промышленного освоения	Геофакторы	Учитываемые физические свойства	Показатели
1	2	3	4	5
Физико-техническая: открытая, подземная, комбинированная	Месторождения твердых полезных ископаемых	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ и массива вмещающих пород, естественное НДС, наличие флюидов Геодинамические: строение залежи, физико-механические свойства ПИ, морфология: рудоносность характер контактов текстурно-структурные характеристики ПИ: крупность форма распределение, техногенные движения, вторичное НДС в техногенной зоне	механические, деформационные, плотностные, горнотехнологические, акустические, реологические, тепловые, электромагнитные, магнитные, радиоактивные	предел прочности на: сжатие растяжение сдвиг, сцепление, угол внутреннего трения, содержание полезного компонента в различных фракциях дробленного сырья
Физическая: подземное растворение	Месторождения каменной, калийной и глауберовой солей, бишофита, соды	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ и массива вмещающих пород, естественное НДС Геодинамические: строение залежи, физико-механические свойства ПИ, морфология: рудоносность, текстурно-структурные характеристики ПИ: крупность форма распределение, вторичное НДС в техногенной зоне	плотностные, тепловые, пространственное положение залежи	коэффициент фильтрации, скорость растворения: массовая линейная, угол наклона поверхности контактов залежи, температура растворителя
подземная выплавка	Месторождения самородной серы	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ и массива вмещающих пород Геодинамические: строение залежи, физико-механические свойства ПИ, морфология: текстурно-структурные вторичное НДС в техногенной зоне	тепловые свойства горного массива (полезного ископаемого и вмещающих пород), плотностные свойства вмещающих пород	теплоемкость, тепловое расширение или сжатие, температура: плавления испарения (парообразования) сублимации, кристаллизации конденсации

1	2	3	4	5
Физико-химическая: выщелачивание (цианированием), бактериальное растворение, серноокислотное выщелачивание и т.д.): <i>чановое, кучное, подземное</i>	Месторождения: марганца, зоны окисления сульфидных руд, меди, никеля, свинца, золота, титана, известняка, урана, бурожелезняковые	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ и массива вмещающих пород, естественное НДС, наличие флюидов Геодинамические: строение залежи, физико-механические свойства ПИ, морфология: рудоносность, характер контактов, текстурно-структурные характеристики ПИ: крупность форма распределение, техногенные движения, вторичное НДС в техногенной зоне	механические, деформационные, плотностные, горнотехнологические, акустические, реологические, тепловые, электромагнитные, радиационные	гидрогеохимическая характеристика рудовмещающих и продуктивной массы, проницаемость, карбонатность и сульфидность рудовмещающих пород, коэффициенты: теплового расширения сжатия, скорости растворения: массовая, линейная
<i>подземная газификация</i>	Месторождения: каменного и бурого угля, битума, тяжелой нефти	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ Геодинамические: морфология: вторичное НДС в техногенной зоне	тепловые и плотностные свойства массива, химический состав массива вмещающих пород	теплотворная способность, трещиноватость массива горных пород
<i>скважинная гидрообработка</i>	Погребенные осадочные месторождения: титана, золота, алмазов, фосфоритов, строительных песков и гравия, угля, мягких бокситов, железа и т.д.	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ и массива вмещающих пород Геодинамические: строение залежи, физико-механические свойства ПИ, морфология: рудоносность, характер контактов, текстурно-структурные характеристики ПИ: крупность, форма, распределение; вторичное НДС в техногенной зоне	физико-механические, фильтрационные	прочностные, пористость, скорость фильтрации, фракционный состав полезного компонента и вмещающих пород

1	2	3	4	5
добыча полезных ископаемых из подземных вод	Месторождения: йодо-бромистых вод, урана, стронция. Шахтные и нефтепромысловые воды	Геостатистические: глубина залегания, содержание полезного компонента, запасы воды, наличие флюидов Геодинамические: пространственное положение, морфология: вторичное НДС в техногенной зоне	физико-механические вмещающего горного массива, тепловые свойства источника и пород, фильтрационные свойства массива	концентрация полезного компонента, химический состав подземных вод, прочностные и плотностные характеристики массива горных пород, коэффициент фильтрации
использование тепла Земли	Природные парогидротермы, тепло «сухих» горных пород	Геостатистические: глубина залегания, число, размер и параметры залежи, свойства ПИ и массива вмещающих пород, естественное НДС, наличие флюидов Геодинамические: строение залежи, физико-механические свойства ПИ, морфология: рудоносность характер контактов, текстурно-структурные характеристики ПИ: крупность форма распределение, техногенные движения, вторичное НДС в техногенной зоне	температура горного массива, тепловые свойства теплоносителя, физико-механические	тепловые и фильтрационные характеристики, плотностные характеристики, прочностные

Данные методы позволяют извлекать из недр непосредственно полезный компонент, исключая традиционные приемы ведения горных работ. Кучное и подземное выщелачивание применяются при добыче драгоценных, цветных, редких и радиоактивных металлов, подземное растворение — при эксплуатации соляных месторождений и создании подземных емкостей. Подземная выплавка широко используется при добыче серы. Подземная газификация, основанная на переводе полезного ископаемого в газообразное состояние, применяется при добыче угля, сланца, торфа, тяжелой нефти и битумов. Скважинная гидродобыча, классифицируемая как перера-

батывающая технология, применяется при извлечении полезного компонента (компонентов) из продуктивной массы путем ее гидромеханического разрушения. Внедрение геотехнологий избирательного извлечения из недр только полезных компонентов требует изучения физических, физико-химических и многих других процессов и поиска новых качественных инноваций в горную практику [8]. Наряду с общепринятыми характеристиками месторождения при создании геоинформационного обеспечения физико-химических геотехнологий следует воспользоваться понятием «физико-геологическая обстановка», включающим геологические, гидрогеологиче-

ские и геотермические характеристики месторождения, физические и химические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород [9]. Детальное изучение «физико-геологической обстановки» дает представление о способности полезного ископаемого переходить в подвижное состояние с помощью размыва, растворения, выщелачивания, горения, плавления, возгонки и т.п.

Создание баз геоданных, включающих характеристики вещественного состава и технологические свойства полезного ископаемого по различным месторождениям [9, 10], позволит в дальнейшем сформировать базы технологических знаний для выбора метода добычи полезного ископаемого из недр и схем обогащения на основе классификации ситуаций. Это приведет к сокращению области поиска, обоснованному учету характеристик объекта исследований, принятию выводов относительно ожидаемых результатов и повышению качества проектных решений. При этом структуризация ситуаций может осуществляться по различным техническим и технологическим признакам: физико-механическим свойствам горных пород и полезного ископаемого, содержанию полезных и вредных компонентам, сортам и типам руд, природным разновидностям, характеристикам распределения минералов по крупности, морфологии и т.п. В качестве критерия структуризации могут использоваться контрастные технологические свойства, рациональный комплекс методов и аппаратов рудоподготовительного и обогатительного циклов. Классифицированные ситуации совместно с нестандартными ситуациями, хранимыми в виде статистически аккумулярованных данных, позволят расширять базу знаний, используемую для выбора режима добычи, переработки бедного и труднообогатимого сырья и техногенных отходов, что обеспечит в дальнейшем

обоснование перспективной внутренней структуры прогнозируемой геотехнологии добычи минерального сырья из недр и технологий его переработки.

Банк технологических знаний целесообразно формировать как многоуровневую структуру, аккумулирующую знания по следующим направлениям:

- физические явления и эффекты, отражающие геотехнологию извлечения полезного компонента из недр;
- технологические методы (способы) горнодобывающего производства;
- геотехнологические методы и процессы добычи сырья, его переработки и обогащения;
- режимы технологических процессов при извлечении полезного компонента из недр.

Процедура создания подобного банка знаний требует решения сложных задач, основными из которых являются:

- обоснование универсального понятийного аппарата для описания предметной области геотехнологии извлечения полезного компонента из недр;
- совершенствование модулей представления знаний;
- создание эффективных методов и средств формирования баз знаний и создание информационного и программного обеспечения.

По существу банк представляет собой компьютерную систему, предназначенную для классификации, накопления, хранения и выдачи знаний по запросу пользователя, контроля истинности используемых постулатов (закономерностей). Отличие банка технологических знаний от известных систем хранения и выдачи технологических данных состоит в том, что из него можно извлечь новые, ранее неизвестные для конкретных условий технологические решения, которые не хранятся в пригодном для моментального использования виде, а могут синтезированы в результате взаимодей-

ствия имеющихся в банке знаний. При создании геоинформационного обеспечения для комплексных месторождений необходимы объективные геоданные по текстурно-структурным характеристикам и морфологическим особенностям полезного ископаемого, химическому составу и физическим свойствам массива горных пород [11].

Следует отметить, что фундаментом физико-технических геотехнологий являются взрывные, механические, гидравлические, криогенные, химические, гравитационные и другие воздействия на горный

массив, за счет которых производится его разрушение, укрепление и упрочение горных выработок и массивов, транспортирование полезного ископаемого к пунктам обогащения и пустых пород на отвал [12]. Для успешного внедрения физических, физико-химических и других новых геотехнологий, предназначенных для извлечения полезного компонента непосредственно из недр, необходимо ускорить исследования по созданию геоинформационного обеспечения и базы знаний по оптимальным режимам протекания соответствующих процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплунов Д. Р., Рубан А. Д., Рыльникова М. В. Комплексное освоение недр комбинированными геотехнологиями / Под ред. акад. К. Н. Трубецкого. — М.: ООО НИИЦ «Недра XXI», 2010. — 304 с.
2. Трубецкой К. Н., Краснянский Г. Л., Хронин В. В., Коваленко В. С. Проектирование карьеров: Учебник. 3-е изд., перераб. — М.: Высшая школа, 2009. — 694 с.: ил.
3. Strebelle S. Conditional Simulation of Complex Geological Structures Using Multiple-Point Statistics // *Mathematical Geology*. 2002. Vol. 34, no 1. Pp. 1–21.
4. Chilès J. P., Delfiner P. *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. New York: John Wiley & Sons, 1999. 695 p.
5. Дорошенко М. В., Башлыкова Т. В. Технологические свойства минералов. Справочник для технологов. — М.: Теплоэнергетик, 2007. — 296 с.
6. Башлыкова Т. В. Усиление роли информационных технологий при формировании экспертных знаний в области переработки минерального сырья // *Рациональное освоение недр*. — 2015. — № 5–6. — С. 4–14.
7. Vogel J. R., Brown G. O. Geostatistics and the representative elementary volume of gamma ray tomography attenuation in rock cores: Geological Society, London, Special Publications // *Applications of X-ray computed tomography in the geosciences*. 2003. Vol. 215. Pp. 81–93.
8. Трубецкой К. Н. Основные направления и пути решения проблемы ресурсосбережения при комплексном освоении недр: докл. на науч. сессии общ. СОБР. Отд. наук о Земле РАН. 14 декабря 2009 г. // *Маркшейдерия и недропользование*. — 2010. — № 3. — С. 22–29.
9. Аленичев В. М. Особенности горно-геологических информационных систем // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2013. — № 55. — С. 19–25.
10. Суханов В. И., Аленичев В. М. Разработка горно-геологической информационной системы по стандартам открытых систем // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2015. — № 11. — С. 320–329.
11. Аленичев В. М., Суханов В. И. Перспективы внедрения горно-геологических информационных систем на отечественных горных предприятиях // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2016. — № 8. — С. 5–15.
12. Ларионов А. Н., Калиниченко Л. С., Рязанов М. А. Сухие рудоподготовительные технологии как средство повышения эффективности сепарационных процессов // *Рациональное освоение недр*. — 2015. — № 5–6. — С. 51–59. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Аленичев Виктор Михайлович — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: alenichev@igduran.ru, Институт горного дела Уральского отделения РАН (ИГД УрО РАН).

Problems of geoinformation support of integrated development technologies for mineral deposits and mining waste

Alenichev V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,
e-mail: alenichev@igduran.ru, Institute of Mining of Ural Branch,
Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Abstract. Introduction of complex geotechnical systems to ensure integrated subsoil management is possible by combining physicochemical methods with physical, chemical, bio-hydro-metallurgical and other special development technologies for natural mineral deposits and mining waste. Applicability of such combinations is determined based on the data of system analysis of geological, mine-technical, hydrogeological, geochemical conditions, as well as textural–structural characteristics and material constitution of minerals. Estimation of geotechnology parameters and mining efficiency needs information on process conditions in rock mass possessing specific properties. Classification of physical properties of rocks is based on their response to external fields. Creation of geo-databases, including characteristics of material constitution and process properties of minerals from different deposits, will enable further formation of technological knowledge bases helpful in selection of a mining method and processing flowsheets based on the classification of a situation. It is advisable to create a technological knowledge bank as a multi-level structure, taking into account physical phenomena and events of mineral extraction from subsoil, geotechnological methods and processes of mineral mining, pre-treatment and processing, as well as production regimes.

Key words: geoinformation support, complex mineral deposit, geotechnology, extraction, geodata, formation, knowledge bank.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-191-199

REFERENCES

1. Kaplunov D.R., Ruban A.D., Ryl'nikov M.V. *Kompleksnoe osvoenie nedr kombinirovannymi geotekhnologiyami*. Pod red. akad. K.N. Trubetskogo [Integrated development of mineral resources combined geotechnology. Trubetskoy K.N. (Ed.)], Moscow, OOO NIITS «Nedra XXI», 2010, 304 p.
2. Trubetskoy K.N., Krasnyanskiy G.L., Khronin V.V., Kovalenko V.S. *Proektirovanie kar'erov*: Uchebnik. 3-e izd. [Design career: Textbook, 3rd edition], Moscow, Vysshaya shkola, 2009, 694 p.
3. Strebelle S. Conditional Simulation of Complex Geological Structures Using Multiple-Point Statistics. *Mathematical Geology*. 2002. Vol. 34. № 1. Pp. 1–21.
4. Chilès J.P., Delfiner P. *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. New York: John Wiley & Sons, 1999. 695 p.
5. Doroshenko M.V., Bashlykova T.V. *Tekhnologicheskie svoystva mineralov*. Spravochnik dlya tekhnologov [Tehnologicheskie properties of minerals. Handbook for technologists], Moscow, Teploenergetik, 2007, 296 p.
6. Bashlykova T.V. Usileniem roli informatsionnykh tekhnologiy pro formirovaniye ekspertnykh znaniy v oblasti pererabotki mineral'nogo syr'ya [Strengthening the role of Information Technology about the formation of expertise in the field of mineral processing], *Ratsional'noe osvoenie nedr*. 2015, no 5–6, pp. 4–14. [In Russ].
7. Vogel J.R., Brown G.O. Geostatistics and the representative elementary volume of gamma ray tomography attenuation in rock cores: Geological Society, London, Special Publications. *Applications of X-ray computed tomography in the geosciences*. 2003. Vol. 215. Pp. 81–93.
8. Trubetskoy K.N. Osnovnye napravleniya i puti resheniya problemy resursoberezheniya pri kompleksnom osvoenii nedr [The main directions and ways of solving the problems of resource-savings for the integrated development of bowels], *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2010, no 3, pp. 22–29. [In Russ].
9. Alenichev V.M. Osobennosti gorno-geologicheskikh informatsionnykh sistem [Features of geological information systems], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 55, pp. 19–25. [In Russ].
10. Sukhanov V.I., Alenichev V.M. Razrabotka gorno-geologicheskoy informatsionnoy sistemy po standartam otkrytykh sistem [Development of mining and geological information system on open systems standards], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 11, pp. 320–329. [In Russ].
11. Alenichev V.M., Sukhanov V.I. Perspektivy vnedreniya gorno-geologicheskikh informatsionnykh sistem na otechestvennykh gornyykh predpriyatiyakh [Prospects for the introduction of geological information systems in domestic mining enterprises], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 8, pp. 5–15. [In Russ].
12. Larionov A.N., Kalinichenko L.S., Ryazanov M.A. Sukhie rudopodgotovitel'nye tekhnologii kak sredstvo povysheniya effektivnosti separatsionnykh protsessov [Dry ore-preparation technology as a means to improve efficiency of the separation process], *Ratsional'noe osvoenie nedr*. 2015, no 5–6, pp. 51–59. [In Russ].